



**Deutsche  
Akademie für  
Städtebau und  
Landesplanung e. V.**

# STADT DENKEN 5

**IM GEDENKEN AN PAUL BÖRSCH  
(1965–2021)**



Impressum

STADT DENKEN 5

**Hinweis:**  
Rechtschreib-, Grammatik- und Zeichensetzungsfehler wurden durch ein Lektorat korrigiert. Um Geschlechterstereotype so weit wie möglich zu umgehen, wurde in den meisten Fällen das generische Maskulinum verwendet. Begriffe wie z. B. „Stadtplaner“ und „Architekten“ stehen für Personen aller Geschlechter.

**Copyright:**  
Das Copyright für die Texte liegt bei den Autoren.  
Das Copyright für die Abbildungen liegt bei den Fotografen/Inhabern der Bildrechte.  
Alle Rechte vorbehalten.

**Herausgeber:**  
im Auftrag des Präsidiums vom Wissenschaftlichen Sekretär  
der Deutschen Akademie für Städtebau und Landesplanung (DASL)  
Julian Wékel  
Berlin, 2021

**Redaktion und Koordination:**  
Irene Gaus, Andrea Gebhard, Susan Grotefels, Johann Jessen, Regina Sonnabend, Uta Volkmann, Julian Wékel

**Lektorat:**  
Fritz Doenges

**Gestaltung und Satz:**  
Tion Kudlek, Uta Volkmann, Justine Wiethan

**Verlag:**  
Wasmuth & Zohlen Verlag UG  
Quedlinburger Straße 11  
10589 Berlin  
www.wasmuth-verlag.de

ISBN: 978 3 8030 2222 6

STADT DENKEN 5 –  
INHALTSVERZEICHNIS

4 EDITORIAL  
*Julian Wékel*

GRUNDSATZ

11 Gesundheit, Resilienz und Krisenvorsorge  
– nicht nur in Zeiten der Pandemie  
*Sabine Baumgart*

21 Wie Deutschland bis 2035 klimaneutral  
werden kann  
*Sascha Samadi, Georg Kobiela,  
Thorsten Koska, Jenny Kurwan,  
Steven März, Dietmar Schüwer,  
Annika Tönjes*

32 Nachhaltigkeit in Zeiten von  
Globalisierung und Digitalisierung  
*Tilman Santarius und Steffen Lange*

LEITBILDKORREKTUREN

41 Stadt suffizient planen und bauen –  
ein neues Nachhaltigkeitsverständnis  
*Hilmar von Lojewski*

55 Landschafts- und Freiraumentwicklung:  
Basis suffizienter Stadtentwicklung?  
*Undine Giseke und Andrea Gebhard*

KOMMUNALE PFLICHTAUFGABEN UND RAUM

67 Städte unter  
Pandemiebedingungen  
*Dorothee Dubrau*

77 Der Boden als Klima-Akteur  
*Stefan Rettich*

89 Klimaschutz braucht eine neue  
Bescheidenheit!  
*Dieter von Lüpke*

DIGITALISIERUNG UND ZEITPOLITIK

103 Digitalisierung als kommunales  
Geschäftsmodell  
*Jens Libbe*

111 Zwangsentschleunigung als Chance?  
Überlegungen zur zeitgerechten Stadt  
*Caroline Kramer und Dietrich Henckel*

ORDNUNG UND GESTALT

122 Zur Geschichte der Deutschen Akademie  
für Städtebau und Landesplanung – Einführung  
*Paul Börsch, Tilman Harlander  
und Johann Jessen*

124 Verantwortung für die Vergangenheit  
und für die Zukunft  
*Tilman Harlander und Johann Jessen*

130 Statements in der Diskussion des Beitrags  
*Regina Sonnabend, Martin zur Nedden,  
Friedemann Kunst, Monika Thomas,  
Sophie Wolfrum*

134 Kontinuitäten und Brüche in der Akademie  
*Johann Jessen*

140 Die großen Themen  
*Sophie Wolfrum*

148 Landesplanung und Robert Schmidt  
*Michael von der Mühlen*

156 Städtebaurecht und Bodenreform  
*Martin zur Nedden*

164 Leseindrücke einer Zeitzeugin  
*Irene Wiese-von Ofen*

168 EPILOG – eine Schlussrede  
*Paul Börsch*

172 Nachruf auf Paul H. Börsch  
*Iris Reuther*



Die vom Wuppertal Institut für *Fridays for Future* durchgeführten Analysen legen nahe, dass das Erreichen von CO<sub>2</sub>-Neutralität bis 2035 aus technischer und ökonomischer Sicht zwar extrem anspruchsvoll wäre, grundsätzlich aber möglich ist. Diese Zielsetzung wäre in allen Sektoren mit großen Herausforderungen verbunden und würde beispiellose politische Anstrengungen erfordern.

Autorenbild von Jenny Kurwan: © Rechte liegen bei der Autorin  
weitere Autorenbilder: © Wuppertal Institut / S. Michaelis / J. Winkler

von links:  
**Sascha Samadi**  
**Georg Kobiela**  
**Thorsten Koska**  
**Jenny Kurwan**  
**Steven März**  
**Dietmar Schüwer**  
**Annika Tönjes**

### Die Autor\*innen des Wuppertal Instituts

Die Autor\*innen sind am Wuppertal Institut in den Abteilungen „Zukünftige Energie- und Industriesysteme“ und „Energie-, Verkehrs- und Klimapolitik“ tätig. Sie haben an der Studie „CO<sub>2</sub>-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze“ für Fridays for Future Deutschland mitgearbeitet, die im Oktober 2020 erschienen ist. Im Rahmen der Studie war Dr. Sascha Samadi für das Kapitel zur Energiewirtschaft verantwortlich. Dr. Georg Kobiela leitete das Projekt. Thorsten Koska hat das Kapitel zum Verkehr verfasst. Jenny Kurwan und Annika Tönjes haben in der Studie abgeleitet, was die Ziele des Pariser Klimaabkommens für das deutsche CO<sub>2</sub>-Restbudget bedeuten könnten und haben eine Metaanalyse bestehender Klimaschutzszenarien durchgeführt. Für das Kapitel zu den Gebäuden waren Dr. Steven März und Dietmar Schüwer zuständig.

## Wie Deutschland bis 2035 klimaneutral werden kann

### 1. Einleitung und verfügbares CO<sub>2</sub>-Budget

„Wie kann Deutschland einen gerechten Beitrag zur Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 Grad Celsius leisten?“ Anfang 2020 bat Fridays for Future Deutschland das Wuppertal Institut, diese Frage aus wissenschaftlicher Sicht zu beantworten.

Der vorliegende Beitrag fasst wesentliche Ergebnisse der Studie „CO<sub>2</sub>-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-Grad-Grenze“ (Wuppertal Institut 2020) zusammen.



Mit dem Pariser Klimaschutzabkommen verpflichtete sich die internationale Staatengemeinschaft Ende 2015 völkerrechtlich verbindlich, den Anstieg der durchschnittlichen Erdtemperatur auf deutlich unter 2 °C und möglichst auf 1,5 °C zu begrenzen. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen IPCC, wird in Deutschland meist als „Weltklimarat“ bezeichnet) zeigte 2018 in einem Sonderbericht, dass auch eine Begrenzung der Erderwärmung auf unter 2 °C mit massiven Bedrohungen für das Leben auf der Erde verbunden ist (IPCC 2018). Unter anderem ist die Wahrscheinlichkeit, unwiderrufliche Kipppunkte im Klimasystem auszulösen, bedeutend höher als bei einer Erwärmung um 1,5 °C. Deshalb fordert Fridays for Future, dass die deutsche Klimapolitik an der 1,5-Grad-Grenze ausgerichtet werden soll.

Gleichzeitig ermittelte der IPCC in seinem Bericht von 2018, wie viel CO<sub>2</sub> weltweit noch emittiert werden darf, um die Erderwärmung mit verschiedenen Wahrscheinlichkeiten (33, 50 bzw. 67 Prozent) auf bestimmte Temperaturanstiege (unter anderem 1,5 °C bzw. 1,75 °C) zu begrenzen. Demnach durften weltweit ab 2018 noch maximal 580 Milliarden Tonnen

CO<sub>2</sub> ausgestoßen werden, um die 1,5-Grad-Grenze mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent einzuhalten (IPCC 2018).<sup>1</sup>

Die Frage, wie dieses globale CO<sub>2</sub>-Budget auf die einzelnen Länder der Erde gerecht verteilt werden kann, lässt sich wissenschaftlich nicht eindeutig beantworten. Die Antwort hängt davon ab, was als gerecht empfunden wird. Das Wuppertal Institut orientiert sich hierzu am Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU). Der SRU ermittelte in seinem Umweltgutachten 2020 ein CO<sub>2</sub>-Budget für Deutschland auf Basis der Annahme, dass das verbleibende globale CO<sub>2</sub>-Budget ab dem Zeitpunkt der Verabschiedung des Pariser Klimaabkommens gleichmäßig auf alle Menschen der Erde aufgeteilt wird. Um die 1,5-Grad-Grenze mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent nicht zu überschreiten, bliebe Deutschland gemäß dem SRU ab dem Jahr 2020 noch ein Restbudget von 4.200 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> (SRU 2020).

<sup>1</sup> Laut IPCC berücksichtigen diese Budgets mögliche Rückkopplungs- und Verstärkungseffekte im Erdsystem, wie z. B. die zusätzliche Freisetzung von Kohlenstoff durch das Tauen der Permafrostböden oder die Freisetzung von Methan aus Feuchtgebieten nicht. Ihr Einbezug könnte die Budgets um weitere ca. 100 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> mindern (IPCC 2018).

1,5-Grad-kompatible CO<sub>2</sub>-Emissionsentwicklung in Deutschland

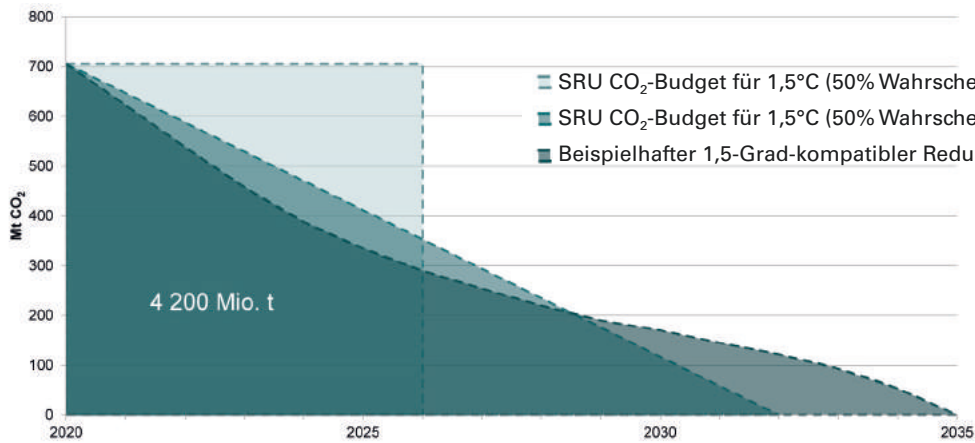


Abb. 1:  
Beispielhafter Emissionspfad zur Einhaltung des deutschen 1,5-Grad-Budgets  
© Wuppertal Institut 2020, basierend auf SRU 2020

Die Klimaziele der Bundesregierung im Verhältnis zum deutschen CO<sub>2</sub>-Budget

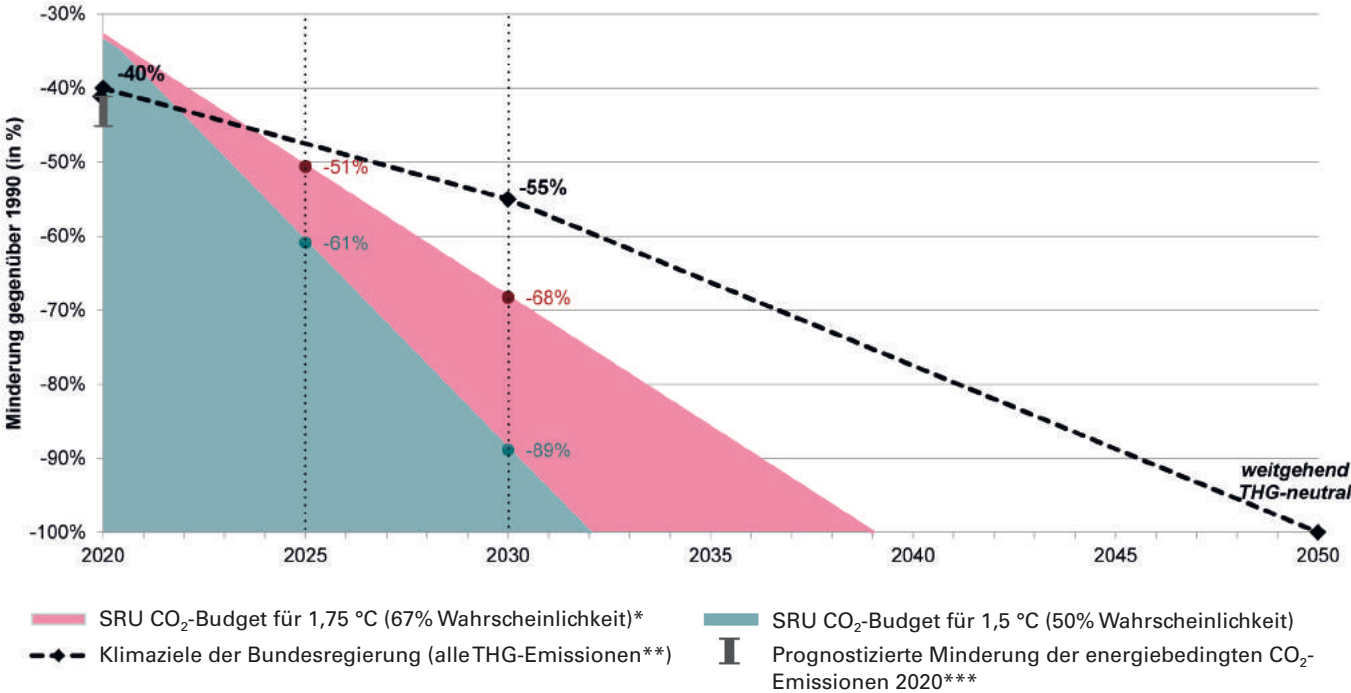


Abb. 2:  
Beispielhafter Emissionspfad zur Einhaltung des deutschen 1,5-Grad-Budgets  
© Wuppertal Institut 2020, basierend auf SRU 2020

Dieses Budget ist nur dann einzuhalten, wenn Deutschland bis zum Jahr 2035 CO<sub>2</sub>-neutral wird und die Emissionen in den unmittelbar vor uns liegenden Jahren besonders stark sinken (vgl. Abb. 1). Binnen der nächsten fünf bis sechs Jahre müssen sich die deutschen Treibhausgasemissionen demnach etwa halbieren, was einer mittleren Reduktion von 60 bis 70 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr entspricht. Ein Vergleich mit der durchschnittlichen jährlichen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Jahren 2010 bis 2018 von nur 10 Millionen Tonnen (UBA 2020) zeigt, dass hierfür tiefgreifende Veränderungen unseres Energie- und Wirtschaftssystems notwendig sind. Auch reichen die aktuellen

Klimaziele der Bundesregierung, die eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 55 Prozent bis 2030 und eine weitgehende Treibhausgasneutralität bis 2050 vorsehen, bei Weitem nicht aus, um einen nach der Perspektive des SRU gerechten Beitrag zur Einhaltung der 1,5-Grad-Grenze zu leisten. Selbst die derzeit diskutierte Verschärfung des Minderungsziels auf minus 65 Prozent würde das Budget noch erheblich überschreiten (vgl. Abb. 2).<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Hierbei ist zu beachten, dass die Klimaziele alle THG-Emissionen umfassen, während das Emissionsbudget ausschließlich CO<sub>2</sub> beinhaltet, wodurch sich eine Ungenauigkeit im Vergleich ergibt. Da CO<sub>2</sub> allerdings im Jahr 2018 für 88 Prozent der deutschen THG-Emissionen verantwortlich war (UBA 2020), erscheint der Vergleich dennoch in erster Näherung aussagekräftig.

Das Budget, das vom SRU für Deutschland ermittelt wurde, erscheint im direkten Vergleich mit aktuellen politischen Zielsetzungen sehr knapp. Dabei sollte aber nicht vergessen werden, dass es durchaus Argumente dafür gibt, warum sogar ein noch geringeres Restbudget angesetzt werden könnte. Einerseits bietet das hier verwendete Budget lediglich eine 50-prozentige Chance auf die Einhaltung der 1,5-Grad-Grenze und berücksichtigt zudem keine Rückkopplungseffekte im Erdsystem (siehe Fußnote 1). Andererseits bleiben bei der hier gewählten Pro-Kopf-Zuteilung des Budgets auf die Weltbevölkerung ab dem Jahr 2016 historische Emissionen unberücksichtigt. Früh industrialisierte Länder wie Deutschland, die historisch bereits einen großen Teil der Erderwärmung verursacht haben, werden so nicht verstärkt in die Verantwortung gezogen. Andererseits könnte argumentiert werden, dass das Budget größer ausfallen könnte, wenn der internationale Emissionszertifikate-Handel und die Umsetzung negativer Emissionen zukünftig neue Spielräume eröffneten. Die Umsetzbarkeit und ethische Vertretbarkeit eines internationalen Handels mit Emissionsrechten, bei denen Industrienationen Emissionsrechte von ärmeren Ländern zukaufen können, ist allerdings umstritten (Bumpus & Liverman 2010, Cabello & Gilbertson 2012, Dehm 2016). Auch dürfte der Spielraum bei dem geringen globalen 1,5-Grad-Restbudget ohnehin eher klein sein. Die großmaßstäbliche Realisierung negativer Emissionen<sup>3</sup> muss aus heutiger Sicht als unsicher angesehen werden (Smith et al. 2016, Len-

zi et al. 2018, Low & Schäfer 2020) und bedarf noch erheblicher Forschungsanstrengungen.

In den folgenden Kapiteln wird skizziert, welche weitreichenden Änderungen in den Sektoren Gebäude, Verkehr, Industrie und Energiewirtschaft voraussichtlich umgesetzt werden müssen, damit diese Sektoren bis 2035 CO<sub>2</sub>-neutral werden können.

Dafür führte das Wuppertal Institut eine Metaanalyse verschiedener Klimaschutzszenarien für Deutschland<sup>4</sup> durch, die auf Basis von Energiesystemmodellen Pfade hin zu (weitgehender) Treibhausgasneutralität bis 2050 skizzieren. Mittels des so gewonnenen Verständnisses, wie nach heutigem Wissensstand ein klimaneutrales Energiesystem grundsätzlich aussehen könnte, wurden Pfade entwickelt, wie die verschiedenen Sektoren durch beschleunigte und intensivierte Maßnahmen bis 2035 (statt bis 2050) CO<sub>2</sub>-neutral werden können. Dabei liegt der Fokus auf der Transformation des deutschen Energie- und Industriesystems, das für annähernd 100 Prozent des deutschen CO<sub>2</sub>-Ausstoßes und für knapp 90 Prozent der deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich ist (UBA 2020). Nicht diskutiert wird damit die ebenfalls notwendige Transformation der Landwirtschaft. Dies bleibt zukünftigen Studien vorbehalten.

## 2. Gebäude

Gebäude sind Orte, an denen wir wohnen, leben und arbeiten. Entsprechend unterschiedlich sind die Anforderungen, die an sie gestellt werden. Der Gebäudebestand soll für das Erreichen der Klimaziele energetisch anspruchsvoll saniert werden,

möglichst ohne dabei jedoch den städtebaulichen Charakter der Quartiere negativ zu beeinflussen. Der Wohnraum soll ferner alten- und familiengerecht und damit Heimat für Jung und Alt sein und vor allem bezahlbar bleiben. Dabei sollen die Maßnahmen für die Immobilieneigentümer jedoch stets wirtschaftlich bleiben (März 2019). Klimaneutralität im Gebäudesektor muss daher stets unter Abwägung energetischer, städtebaulicher und sozioökonomischer Belange diskutiert werden.

Der Gebäudesektor war 2018 für ca. 30 Prozent der direkten (Gas und Öl) sowie indirekten (Strom und Fernwärme) deutschen Treibhausgasemissionen verantwortlich (UBA 2020). Am Endenergieverbrauch haben Wohn- und Nichtwohngebäude sogar einen Anteil von rund 40 Prozent, mit einem Verbrauch von gut 1000 TWh im Jahr 2018. Rund zwei Drittel entfallen dabei auf den Wohn- und ein Drittel auf den Nichtwohngebäudebestand (AG Energiebilanzen 2020). In Bezug auf den Klimaschutz hat der Gebäudesektor seit 1990 durchaus Erfolge zu verzeichnen. So sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Gebäudesektor zwischen 1990 und 2019 um rund 40 Prozent gesunken (UBA 2020). Dieser Emissionspfad flachte jedoch seit 2010 deutlich ab, sodass sich der Raumwärme- und Warmwasserbedarf seitdem kaum merklich verringerte (dena 2019). Effizienzgewinne wurden insbesondere von der zunehmenden Wohnfläche „aufgefressen“ (Rebound-Effekt). Die energetische Sanierungsrate, eine zentrale Steuerungsgröße hin zur Klimaneutralität, bleibt seit vielen Jahren bei rund einem Prozent pro Jahr deutlich hinter dem politischen Ziel von zwei Prozent zurück (Cischinsky & Diefenbach 2018; Diefenbach et al. 2010). Das Investitionsvolumen für energetische Sanierungen stagniert und noch immer werden neue Heizungsanlagen in knapp vier von fünf Fällen mit fossilen Energieträgern (vor allem Erdgas und Heizöl) betrieben (dena 2019).

Um eine neue Dynamik hin zu einem klimaneutralen Gebäudebestand bis 2035 zu entwickeln, gilt es gesellschaftlich tragfähige Antworten auf die folgenden drei Fragen zu finden:

- Wie viel Wohnfläche ist genug?
- Wie energieeffizient sollten die Gebäude sein?
- Wie sollten die Gebäude beheizt werden?

Die Pro-Kopf-Wohnfläche ist in Deutschland in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich angestiegen, von rund 19 m<sup>2</sup> Anfang der 1960er Jahre auf 35 m<sup>2</sup> im Jahr 1990 und knapp 47 m<sup>2</sup> im Jahr 2018. Viele Energieszenarien gehen für die Zukunft von einem weiteren Anstieg aus. Klimaneutralität bis 2035 wird jedoch voraussichtlich nur möglich sein, wenn das Pro-Kopf-Flächenwachstum gestoppt oder besser noch umgekehrt werden kann.

Eine Schlüsselrolle hin zu einem klimaneutralen Gebäudebestand kommt der Energieeffizienz zu. Eine Steigerung der energetischen Sanierungsrate sowie der Sanierungstiefe reduziert den Endenergiebedarf von Gebäuden. Insbesondere die Neubaustandards bleiben weit hinter den technischen Potenzialen zurück und sollten sich am KfW-40- oder Passivhausstandard orientieren. Bei der Bestandssanierung sollten möglichst Standards in Richtung KfW-55 oder Passivhaus eingehalten werden. Hohe energetische Standards sind vielfach auch Grundvoraussetzung für eine energieeffiziente und wirtschaftliche Elektrifizierung der Beheizung durch Wärmepumpen, die in allen vorliegenden Klimaschutzszenarien, neben der „grünen Nah- und Fernwärme“ (aus erneuerbarer Wärme bzw. industrieller und kommunaler Abwärme), eine zentrale Rolle bei der Beheizung einnehmen.

Daraus ergeben sich vier zentrale Stellschrauben für die nächsten 15 Jahre:

<sup>3</sup> Grundgedanke negativer Emissionen ist, dass CO<sub>2</sub> der Atmosphäre entzogen wird und hierdurch an anderer Stelle entstehende Emissionen kompensiert werden, somit Netto entsprechende Null-Emissionen entstehen. Technisch kann dies beispielsweise durch eine Kopplung der Nutzung von Biomasse mit fester Kohlenstoffabtrennung oder CO<sub>2</sub>-Abtrennung und Speicherung (CCS: Carbon Capture and Storage), durch eine Kopplung von Verfahren der Abtrennung von CO<sub>2</sub> aus der Umgebungsluft (DAC: Direct Air Capture) mit CCS sowie durch die Stärkung natürlicher Senken durch Wiedervernässung von Mooren oder Aufforstungsmaßnahmen erreicht werden.

<sup>4</sup> Analysiert wurden ausgewählte Klimaschutzszenarien, in denen die deutschen energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 um 95 bis 100 Prozent reduziert werden. Eine Auflistung der betrachteten Szenarien findet sich auf Seite 34 der Studie (Wuppertal Institut 2020).

1. **Förderung der Flächensuffizienz.** Es gilt, den Flächenverbrauch von Wohn- und Gewerbeflächen (z. B. spezifische Pro-Kopf-Wohnfläche) zu begrenzen bzw. zu reduzieren.
2. **Erhöhung der energetischen Sanierungsrate von heute 1 Prozent auf jährlich circa 4 Prozent aller Gebäude bis 2035.** Dies wäre ein historisch noch nie erreichter Umfang und läge auch deutlich über dem politischen Ziel der Bundesregierung von 2 Prozent. Diese Zielerreichung erfordert – neben einer erhöhten Verbindlichkeit – völlig neue Multiplikator-Ansätze in der Umsetzung (z. B. seriell Sanieren, One-Stop-Shops, s. u.). Dabei sollten idealerweise der KfW-Effizienzhaus 55- oder der Passivhausstandard eingehalten werden.
3. **Rasches Verbot der Neuinstallation fossil betriebener Heizungsanlagen.** Die Bundesregierung hat sich im Klimaschutzprogramm auf das Verbot der Installation von Ölheizungen ab 2026 verständigt (Bundesregierung 2019). Wird eine gegenüber den Zielen der Bundesregierung deutlich schnellere Reduktion der Treibhausgasemissionen angestrebt, muss dieses Verbot schnellstmöglich – und flankiert mit entsprechenden Unterstützungsmaßnahmen für die Gebäudebesitzerinnen und -besitzer – vorgezogen und auch auf Erdgaskessel ausgeweitet werden.
4. **Versorgung von Restbeständen fossiler Heizungsanlagen über synthetische Energieträger.** Je weniger Heizungskessel verbleiben und je umfassender die Gebäudedämmung gelingt, desto realistischer erscheint die Deckung des verbleibenden Brennstoffbedarfs mit erneuerbaren Energieträgern wie Wasserstoff oder synthetisches Methan. Stark steigende Einsatzmengen biogener Energieträger dürften angesichts der Flächenkonkurrenzen sowie möglicher negativer ökologischer und sozialer Auswirkungen nicht zielführend sein.

Damit ein klimaneutraler Gebäudebestand Realität wird, braucht es eine neue ordnungs-, fiskal- und förderpolitische Rahmensetzung auf Bundes- und Landesebene. Anlassbezogene Sanierungsverpflichtungen (z. B. bei Vererbung oder Verkauf), ein rascher Anstieg des CO<sub>2</sub>-Preises, verbindliche gebäudespezifische Sanierungsfahrpläne sowie ein Ausstiegsfahrplan für fossile Heizungssysteme, die Qualifizierung von Handwerkern und die Förderung des seriellen Sanierens,<sup>5</sup> Sanierungsprozesse selbst beschleunigen und damit die Einstiegshürde für eine ambitionierte energetische Sanierung senken.<sup>6</sup> Sie können zudem Wärmeversorgungspläne zur strategischen Entwicklung grüner Nah- und Fernwärme oder eigene Förderprogramme entwickeln. Wichtig bei allen Maßnahmen ist eine stets transparente Kommunikation, um die Akzeptanz bei Bewohnerinnen und Bewohnern sowie Eigentümerinnen und Eigentümern zu sichern.

### 3. Verkehrssektor

Der Klimaschutz im Verkehr steht vor besonders großen Herausforderungen. Zum einen liegt das daran, dass das Verkehrssystem stark verflochten ist mit anderen Sektoren und Gesellschaftsbereichen – von der Industrie bis zur Stadtplanung, vom täglichen Weg zur Arbeit bis zur Abwicklung des internationalen Handels. Zudem betrifft eine Verkehrswende unser aller tägliches Verhalten, dessen Veränderung vielfältige Voraussetzungen hat.

Zum anderen stagnieren die Treibhausgas (THG)-Emissionen im Verkehr seit 30 Jahren auf hohem Niveau, während die anderen Sektoren ihre Emissionen in diesem Zeitraum deutlich senken konnten. Der Verkehr ist gegenwärtig für rund ein Fünftel der

<sup>5</sup> Siehe das niederländische Vorbild des „Energiesprong-Prinzip“: [www.energiesprong.de](http://www.energiesprong.de)

<sup>6</sup> [www.proretro.eu/de](http://www.proretro.eu/de)

Treibhausgasemissionen in Deutschland verantwortlich.

Ein Grund für die unverändert hohen Emissionen ist der wachsende Personen- und Güterverkehr, der die in der Vergangenheit realisierten technischen Effizienzgewinne wieder zunichte gemacht hat. So ist die Fahrleistung von Pkw und Lkw zwischen 1990 und 2018 um rund 30 % von 574 auf 751 Mrd. km gestiegen (DIW et al. 2019). Größere Pkw mit höherem Gewicht und stärkerer Motorisierung tragen dazu bei, dass sich die Effizienzverbesserungen in der Technik nicht in geringeren Energiebedarfen und THG-Emissionen widerspiegeln – in den letzten 15 Jahren ist die Motorleistung neuer Pkw um 29 % gestiegen (KBA 2020). Die THG-Emissionen werden durch den fast ausschließlich fossil betriebenen Straßenverkehr dominiert, der für über 90 % der Emissionen verantwortlich ist. Elektrofahrzeuge machen erst 1,2 Prozent des Pkw-Bestands in Deutschland aus. Und auch der Luftverkehr trägt in wachsendem Maße zu den Emissionen des Verkehrs bei – in der letzten Dekade ist das Passagieraufkommen um rund 40 % gewachsen.

Eine umfassende Verkehrswende hat nicht nur das Potenzial, die Treibhausgase massiv zu reduzieren. Nachhaltige Mobilität ist aktiver Gesundheitsschutz, weil sie die Belastung mit Luftschadstoffen und den Verkehrslärm verringert und für mehr Verkehrssicherheit sorgt: Heute sterben noch jährlich 3000 Menschen auf deutschen Straßen. Eine andere Mobilität ist sozial gerecht, denn ein gut ausgebauter öffentlicher Verkehr und für alle sicher nutzbare Fuß- und Radwege ermöglichen soziale Teilhabe. Und schließlich ist die Verkehrswende volkswirtschaftlich sinnvoll: Die externen Kosten des Straßenverkehrs durch Unfälle, Umwelt- und Klimabelastung summieren sich in Deutschland auf 149 Mrd Euro jährlich (Infras 2019).

### Strategien der Verkehrswende

Die notwendige massive Reduzierung der Treibhausgasemissionen ist nur durch die Kombination verschiedener Strategieansätze erreichbar: eine Verringerung des Verkehrs, die Verlagerung auf effiziente und klimafreundliche Verkehrsmittel (Fuß- und Radverkehr, Öffentlicher Verkehr und Sharing-Mobilität), Verbesserungen der Effizienz von Fahrzeugen und des Verkehrssystems sowie der Umstieg auf erneuerbar betriebene Verkehrsmittel, darunter Elektrofahrzeuge und Brennstoffzellenantriebe. Ein alleiniger Fokus auf erneuerbare Antriebe reicht nicht zur Erreichung der Klimaziele. Durch die Verkehrsverlagerung sind etwa deutlich größere Effizienzgewinne möglich als durch eine reine Fokussierung auf Fahrzeugantriebe: Die Bahn ist (bei durchschnittlichem Besetzungs-/Auslastungsgrad) um den Faktor 4,8 energieeffizienter als der Pkw und um den Faktor 5,6 effizienter als der Lkw (vgl. BDI 2018).

### Reduzierung von Verkehr

Verkehr, der gar nicht erst entsteht, ist per se am klima- und umweltfreundlichsten. Verkehrsvermeidung bedeutet die Reduzierung von Wegen – zum Beispiel durch Homeoffice oder Videokonferenzen – aber auch deren Verkürzung: Wer beim gut sortierten Supermarkt um die Ecke einkaufen kann, verursacht weniger Verkehr als mit einer Fahrt zum Einkaufszentrum am Stadtrand. Verkehrsvermeidung schränkt daher Mobilität nicht ein, sondern zielt darauf ab, die gleichen Bedürfnisse mit weniger Verkehr befriedigen zu können.

Möglich wird dies u. a. durch eine kompakte Raum- und Siedlungsentwicklung, die quartiersorientierte Verdichtung von Versorgungsinfrastrukturen, eine deutliche Reduzierung beim Neu- und Ausbau von Straßen sowie die Förderung von Home-Office und Telekonferenzen. Zusammengenommen kann



der Verkehrsaufwand so um bis zu 20 % reduziert werden (UBA 2019). Auch die Entfernungen im Güterverkehr können durch regionale Wirtschaftskreisläufe reduziert werden. Unter anderem kann eine Erhöhung der Lkw-Maut Anreize dafür schaffen, Transportwege zu verkürzen. Im Güterverkehr erscheint gegenüber heute eine Reduzierung um 10% realistisch.

#### **Verkehrsverlagerung auf den Umweltverbund**

Für die Verlagerung des Pkw- und Luftverkehrs auf den Umweltverbund ist ein massiver Ausbau des Öffentlichen Verkehrs notwendig, sowohl im Nah- wie im Fernverkehr. Ein dichteres Streckennetz, häufigere und pünktlichere Fahrten und eine bessere Abstimmung der Verbindungen im Rahmen eines „Deutschlandtaktes“ können den Öffentlichen Verkehr attraktiver machen. Rund die Hälfte des noch verbleibenden Straßenverkehrs mit Pkw und Lkw kann auf die Schiene verlagert werden. Hierzu ist eine Beschleunigung geplanter Projekte im Bundesverkehrswegeplan nötig, u. a. müssen stark belastete Netzknoten ausgebaut und Überholgleise geschaffen werden. Eine schnelle Digitalisierung erhöht die Kapazitäten des Schienennetzes. Auf lokaler Ebene kann ein dichteres ÖPNV-Angebot durch On-Demand-Dienste ergänzt werden, die „Tür-zu-Tür-Mobilität“ in Verknüpfung mit dem Öffentlichen Verkehr anbieten und so perspektivisch eine „Haustüranschluss-Mobilität“ bieten. Intermodale Schnittstellen wie Mobilstationen im Personenverkehr und automatisierte Hubs für den kombinierten Güterverkehr ermöglichen eine nahtlose Mobilität.

Durch eine Neuverteilung des Straßenraums, sichere Rad- und Fußwege und Tempolimits können Rad- und Fußverkehr gefördert werden. In der Fläche verfügbare Sharing-Angebote ergänzen den Umweltverbund. Die Autodichte in Städten könnte so auf ein Drittel des heutigen Niveaus sinken.

#### **Effizienzverbesserung und Energiewende im Verkehr**

Bei den Pkw-Antrieben ist Elektromobilität die effizienteste und klimaschonendste Alternative zu den konventionellen Antrieben: Die Energie wird hierbei rund doppelt so effizient verwertet wie bei Brennstoffzellen-Fahrzeugen, die Wasserstoff tanken, und mehr als fünfmal so effizient wie bei synthetischen Kraftstoffen, die mit erneuerbarer Energie erzeugt werden. Wenn ein Flottenaustausch hin zu E-Autos bis 2035 umgesetzt werden soll, müssen – bei gleichzeitiger Verkleinerung der Flotte – 47 Mio. konventionelle Pkw innerhalb von 15 Jahren durch 28 Mio. E-Autos ersetzt werden. Ab heute müssten im Schnitt jährlich rund 2 Mio. E-Autos neu hinzukommen. Notwendig hierfür ist neben einer vollständigen Umstellung der Fahrzeugfertigung ein Aufbau der nötigen Ladeinfrastruktur sowie Standards zum gesteuerten, netzdienlichen Laden. Flottenemissions- und Effizienzregulierung, Bonus-Malus-Systeme für die Kfz-Steuer und eine Reform der Dienstwagenregelung können zudem Anreize zur Antriebswende und zur Erhöhung der Fahrzeugeffizienz setzen, die auch mit Downsizing von Fahrzeuggröße und Motorisierung einhergeht.

Im Güterverkehr ist eine differenzierte Struktur der Antriebstechnologien zu erwarten: Neben batterieelektrischen Lkw sind vor allem für den Schwerlast-Fernverkehr Brennstoffzellenantriebe sowie Oberleitungs-Lkw mit kleinerer Batterie energetisch und wirtschaftlich effiziente Optionen. Für letztere müsste das Autobahnnetz mit Oberleitungen ausgerüstet werden. Darüber hinaus sind auch im Güterverkehr Preisanreize über Kfz-Steuer, CO<sub>2</sub>-Steuer und Lkw-Maut sowie Effizienzregulierung wichtige Instrumente.

Zudem kann ein Phase-Out von Verbrennungsmotoren den Rahmen für einen schrittweisen

Ausstieg für die Neuzulassung konventioneller Pkw und Lkw setzen. Mit einem Phase-Out fossiler Kraftstoffe werden die verbliebenen Verbrennungsfahrzeuge für eine Übergangszeit mit erneuerbar erzeugten synthetischen Kraftstoffen betrieben.

#### **4. Energiewirtschaft**

Die Energiewirtschaft ist der Schlüsselsektor für das Erreichen von CO<sub>2</sub>-Neutralität. Sie wird in Zukunft für die Endenergiesektoren Industrie, Verkehr und Gebäude klimaneutralen Strom, klimaneutrale gasförmige und flüssige Energieträger sowie klimaneutrale Wärme über Nah- und Fernwärmenetze liefern (müssen).

Eine ausreichende Bereitstellung von Strom auf Basis erneuerbarer Energien wird dabei eine zentrale Rolle spielen, um die Endenergiesektoren in einen klimaneutralen Zustand zu bringen. In diesen Sektoren wird zukünftig infolge neuer Anwendungen wie Elektroautos und Wärmepumpen verstärkt Strom genutzt, um auf fossile Energieträger verzichten zu können. In der Energiewirtschaft erfordert die Transformation daher insbesondere einen schnellen Umbau der Stromerzeugung auf 100 Prozent erneuerbare Energien. Dafür ist ein gegenüber den vergangenen Jahren deutlich schneller Ausbau der Erneuerbare-Energien-Anlagen notwendig. Insbesondere gilt dies für den Ausbau von Windenergie- und Photovoltaik-Anlagen, denn diese beiden Technologien werden aufgrund ihrer großen Potenziale und niedrigen Erzeugungskosten den zukünftigen Strommix dominieren.

Auf Grundlage einer Analyse vorliegender Klimaschuttszenarien gehen wir davon aus, dass das Erreichen eines CO<sub>2</sub>-freien Energiesystems bis zum Jahr 2035 einen durchschnittlichen jährlichen Ausbau von Windenergieanlagen (auf dem Land und auf dem Meer) und Photovoltaikanlagen in einer

Größenordnung von zusammen mindestens 25 bis 30 GW erfordern würde. Im Durchschnitt der Jahre 2018 bis 2020 wurden lediglich rund 6 GW pro Jahr zugebaut (BWE 2021, Energy-Charts 2021).

Aus einigen vorliegenden Klimaschuttszenarien lässt sich auch ein niedrigerer jährlicher Ausbaubedarf von rund 15 GW ableiten. Dies würde allerdings einen sehr großen Import klimaneutraler Energieträger (wie zum Beispiel Wasserstoff) bedingen. Ob ein solch großskaliger Import bereits bis 2035 realisiert werden kann, muss aufgrund des hohen Zeitbedarfs für die Planung und Umsetzung von Erzeugungsanlagen im Ausland und zugehörigen Transportinfrastrukturen als sehr unsicher angesehen werden. Aber selbst ein Zubau von 15 GW pro Jahr wäre im Vergleich mit dem Zubau der letzten Jahre viel und immer noch mehr, als sich aus den aktuellen Zielen der Bundesregierung ableiten lässt (rund 10 GW pro Jahr bis 2030, nach Erneuerbaren-Energien-Gesetz, 2021).

Aufgrund des in den letzten Jahren sehr langsamen Ausbaus der Windenergie an Land spricht vieles dafür, in den kommenden Jahren eine Beschleunigung des Zubaus der Photovoltaik anzustreben, um eine möglicherweise auch in Zukunft unzureichende Ausbaudynamik bei der Windenergie kompensieren zu können. Dabei ist jedoch ein Mindestzubau der Windenergie an Land in jedem Fall nötig, der deutlich über den Werten der letzten Jahre liegen sollte. Vorliegenden Studien (wie z. B. Fath 2018) zufolge stellt das vorhandene Potenzial zur Stromerzeugung aus Photovoltaik-Anlagen keinen limitierenden Faktor dar. Insbesondere in Bezug auf Dachanlagen bzw. gebäudeintegrierte Anlagen weist die Photovoltaik zudem eine hohe gesellschaftliche Akzeptanz und kaum nachteilige Effekte auf die Natur und den Flächenverbrauch auf.

Städte können beim Ausbau der Photovoltaik eine wichtige Rolle spielen, z. B. indem sie Förder- und Beratungsprogramme initiieren, ihre eigenen Gebäude für Photovoltaik-Anlagen zur Verfügung stellen oder die Erfordernisse der Photovoltaik explizit und frühzeitig bei der Umsetzung größerer städtebaulicher Projekte berücksichtigen.

Die notwendige starke Beschleunigung des Ausbaus erneuerbarer Energien erfordert neue energiepolitische Maßnahmen. Eine Belegung des Ausbaus der Windenergie an Land wird nur über ein Bündel an Maßnahmen erreicht werden können, zu der eine stärkere Beteiligung der Anwohnerinnen und Anwohner sowie der Kommunen am Betrieb von Windenergieanlagen bzw. an den von diesen generierten Einnahmen gehört. Im Bereich der Photovoltaik könnte über eine Installations- bzw. Nutzungspflicht beim Neubau sowie bei Dachsanierungen und beim Eigentümerwechsel nachgedacht werden.

Der Aus- und Umbau der Stromübertragungs- und -verteilnetze muss für die Realisierung einer 100 Prozent erneuerbaren Stromversorgung stark beschleunigt und die zeitliche Flexibilität der Stromnachfrage erhöht werden. Zudem müssen Kurz- und Langzeitspeicher wie Batterien und Wasserstoffkavernenspeicher errichtet werden.

Eine klimaneutrale Stromversorgung ist zwar eine notwendige, nicht jedoch eine hinreichende Bedingung für ein klimaneutrales Energiesystem. Denn auch in Zukunft wird sich nicht der gesamte Energiebedarf über Strom decken lassen. In einem klimaneutralen Energiesystem ist vorliegenden Studien zufolge für Deutschland mit einem Bedarf an Wasserstoff und gasförmigen sowie flüssigen synthetischen Energieträgern in einer Größenordnung von etwa 400 bis 900 TWh pro Jahr zu

rechnen. Nur im Falle weitgehender Lebensstiländerungen könnte der Bedarf niedriger liegen. Zum Vergleich: Gegenwärtig liegt der jährliche Bedarf an Erdgas und Mineralöl in Deutschland bei zusammen rund 2.000 TWh (AG Energiebilanzen 2021).

Zumindest ein Teil dieses Bedarfs kann zukünftig über eine inländische Erzeugung von Wasserstoff mittels Elektrolyseuren gedeckt werden. Ökologisch sinnvoll sind Importe auf Dauer nur aus Ländern, die bereits eine vollständige eigene Bedarfsdeckung mit erneuerbaren Energien erreicht haben und die Wasserstoff bereitstellen können, der aus erneuerbaren Energiequellen stammt. Mit dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft in Deutschland ließen sich auch entsprechende Wertschöpfungseffekte und Innovationsimpulse auslösen. Wird bis 2035 zumindest eine inländische Bereitstellung von 150 bis 200 TWh Wasserstoff als notwendig angenommen, macht dies bis dahin den Aufbau einer Kapazität an Elektrolyseuren in Höhe von voraussichtlich mindestens 40 und bis zu 90 GW erforderlich (unter anderem in Abhängigkeit der realisierbaren Volllaststunden der Elektrolyseure). Die Bundesregierung strebt im Rahmen ihrer Wasserstoffstrategie (Bundesregierung 2020) hingegen gegenwärtig bis 2035 eine entsprechende Kapazität in Höhe von nur maximal 10 GW an.

**5. Fazit**

Die vom Wuppertal Institut für Fridays for Future durchgeführten Analysen legen nahe, dass das Erreichen von CO<sub>2</sub>-Neutralität bis 2035 aus technischer und ökonomischer Sicht zwar extrem anspruchsvoll wäre, grundsätzlich aber möglich ist. Diese Zielsetzung wäre in allen Sektoren mit großen Herausforderungen verbunden und würde beispiellose politische Anstrengungen erfordern.

Ein angemessener Beitrag Deutschlands zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze ist vor allem ohne eine breite Zustimmung, Mitwirkung und Teilhabe der

Gesellschaft nicht möglich. Hierfür bedarf es insbesondere einer gerechten, auf soziale Aspekte und Teilhabe achtenden Gestaltung der Zielerreichung.

Klima-Demonstrantin „Fridays for Future“ © Flickr / Ivan Radic

Foto in gedruckter Ausgabe verfügbar



Literaturverzeichnis und Quellennachweise

Sascha Samadi, Georg Kobiela, Thorsten Koska, Jenny Kurwan, Steven März, Dietmar Schüwer, Annika Tönjes: Wie Deutschland bis 2035 klimaneutral werden kann

AG Energiebilanzen (2020): Auswertungstabellen zur Energiebilanz Deutschland – Daten für die Jahre von 2019 bis 2018, <https://www.ag-energiebilanzen.de/>

AG Energiebilanzen (2021): Bericht zum Energieverbrauch 2020, [https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article\\_id=29&file-Name=ageb\\_pressedienst\\_01\\_2021.pdf](https://ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&file-Name=ageb_pressedienst_01_2021.pdf)

BDI (2018): Klimapfade für Deutschland. The Boston Consulting Group (BCG), Prognos, für den Bundesverband der Deutschen Industrie. [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Presse\\_und\\_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade\\_fuer\\_Deutschland\\_BDI-Studie\\_/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/Januar/Klimapfade_fuer_Deutschland_BDI-Studie_/Klimapfade-fuer-Deutschland-BDI-Studie-12-01-2018.pdf)

Bumpus, A. G., & Liverman, D. M. (2010): 10: Carbon colonialism? Offsets, greenhouse gas reductions, and sustainable development. In R. Peet, P. Robbins, & M. Watts, Global Political Ecology (S. 203–224). Routledge.

Bundesregierung (2019): Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050, <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975226/1679914/e01d6bd855f09bf05cf7498e06d0a3ff/2019-10-09-klima-massnahmen-data.pdf?download=1>

Bundesregierung (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie, [https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=20](https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/die-nationale-wasserstoffstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=20)

BWE (2021): Windenergie in Deutschland – Zahlen und Fakten, <https://www.wind-energie.de/themen/zahlen-und-fakten/deutschland/>

Cabello, J., & Gilbertson, T. (2012): A colonial mechanism to enclose lands: A critical review of two REDD+-focused special issues. ephemera – theory & politics in organization, 12 (1/2), 162–180.

Cischinsky, D. H., & Diefenbach, D. N. (2018): Datenerhebung Wohngebäudebestand 2016. Datenerhebung zu den energetischen Merkmalen und Modernisierungsraten im deutschen und hessischen Wohngebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt (IWU).

Dehm, J. (2016): Carbon Colonialism or Climate Justice: Interrogating the International Climate Regime from a TWAIL Perspective. Windsor Yearbook of Access to Justice, 33, 129.

dena (2019): Statistiken und Analysen zur Energieeffizienz im Gebäudebestand (dena-Gebäudereport kompakt 2019). Deutsche Energie Agentur GmbH. [https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-GEB\\_AEUDEREPORT\\_KOMPAKT\\_2019.pdf](https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2019/dena-GEB_AEUDEREPORT_KOMPAKT_2019.pdf)

Diefenbach, N., Cischinsky, H., Rodenfels, M., & Clausnitzer, K.-D. (2010): Datenbasis Gebäudebestand: Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Bremer Energie Institut (BEI).

DIW, DLR & KBA (2019): Verkehr in Zahlen 2019 / 2020, 48. Jahrgang. Für das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). [https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2019-pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/verkehr-in-zahlen-2019-pdf.pdf?__blob=publicationFile)

Energy-Charts (2021): Jährlicher Zu- und Rückbau an installierter Netto-Leistung in Deutschland, [https://energy-charts.info/charts/installed\\_power/chart.htm?l=de&c=DE&expansion=installation\\_decommission](https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=de&c=DE&expansion=installation_decommission)

Fath, K. (2018): Technical and economic potential for photovoltaic systems on buildings, <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000081498/14534279>

Infras (2019): Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland. Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffverkehr 2017. Von Cuno Bieler und Daniel Sutter. Zürich.

IPCC (2018): Global Warming of 1.5 °C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Genf. <http://www.ipcc.ch/report/sr15/>

Lenzi, D., Lamb, W. F., Hilaire, J., Kowarsch, M., & Minx, J. C. (2018): Don’t deploy negative emissions technologies without ethical analysis. Nature, 561 (7723), 303–305. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-06695-5>

Low, S. & Schäfer, S. (2020): Is bio-energy carbon capture and storage (BECCS) feasible? The contested authority of integrated assessment modeling. Energy Research & Social Science 60. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101326>

März, S. (2019): Warum sollte ich meine Mietimmobilie energetisch sanieren? Analyse und Multi-Level-Governance quartiersbezogener und individueller Rahmenbedingungen zur Steigerung der energetischen Sanierungstätigkeit privater Kleinvermieter. Universität Duisburg-Essen. Essen.

Smith, P., Davis, S. & Creutzig, F. et al. (2016): Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions. Nature Climate Change 6, 42–50. <https://doi.org/10.1038/nclimate2870>

SRU (2020): Für eine entschlossene Umweltpolitik in Deutschland und Europa [Umweltgutachten 2020]. Sachverständigenrat für Umweltfragen. [https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01\\_Umweltgutachten/2016\\_2020/2020\\_Umweltgutachten\\_Entschlossene\\_Umweltpolitik.html](https://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2016_2020/2020_Umweltgutachten_Entschlossene_Umweltpolitik.html)

UBA (2019): Wege in eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität: Rescue Studie. Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/rescue>

UBA (2020): Emission der von der UN-Klimarahmenkonvention abgedeckten Treibhausgase. <https://www.umweltbundesamt.de/indikator-emission-von-treibhausgasen#die-wichtigsten-fakten>

Wuppertal Institut (2020): CO<sub>2</sub>-neutral bis 2035: Eckpunkte eines deutschen Beitrags zur Einhaltung der 1,5-°C-Grenze. Bericht. Wuppertal

Abbildungsverzeichnis und Bildernachweise

Umschlag Vorderseite:

- links: Medizinische Maske, Markt in Leipzig © Roland Quester / Leipzig
- oben: Starkregenereignis in Köln © Pixabay
- unten: Mitglieder der Freien Deutschen Akademie des Städtebaus in Washington DC, Mount Vernon am 27. April 1925 (Internationale Städtebautagung New York) © Aus: Stephan Prager, Die Deutsche Akademie für Städtebau und Landesplanung. Rückblick und Ausblick 1922 –1955 (Schriftenreihe der DASL, Band 8), Tübingen 1955, S. 10

Umschlag Rückseite:

- oben: Ausgleichsflächen der Messe München: Stellplatzanlage und artenreiche Blühwiese wechseln sich ab. © Philip Winkelmeier
- unten: Bundesverwaltungsgericht / Harkortstraße in Leipzig © Roland Quester / Leipzig

Im Folgenden sind die Autorenfotos und Kapitelbilder aufgelistet. Alle übrigen Abbildungen sind mit ihrer jeweiligen Bildunterschrift direkt im Beitrag gekennzeichnet und nachfolgend mit der Quellenangabe vervollständigt.

- S. 20 Verkehrsstau in der Stadt © Pixabay / Wolfgang Eckert
- S. 21 Autorenbilder © Wuppertal Institut / S. Michaelis / J. Winkler
- S. 21 Autorenbild von Jenny Kurwan © Rechte liegen bei der Autorin
- S.22 Abb. 1: Beispielhafter Emissionspfad zur Einhaltung des deutschen 1,5-Grad-Budgets © Wuppertal Institut 2020, basierend auf SRU 2020
- S. 23 Abb. 2: Beispielhafter Emissionspfad zur Einhaltung des deutschen 1,5-Grad-Budgets © Wuppertal Institut 2020, basierend auf SRU 2020
- S. 31 Klima-Demonstrantin „Fridays for Future“ © Flickr / Ivan Radic